PROBLÉMATISATION ET CONCEPT DE PARADIGME APPROCHE ÉPISTÉMOLOGIQUE, PSYCHOLOGIQUE, SOCIOLOGIQUE

Guy Rumelhard

Si l'on adopte le concept de paradigme élaboré par Kuhn et très largement admis par les scientifiques eux mêmes, la pensée scientifique s'exerce, à un moment précis du travail, dans un contexte donné, à l'intérieur de contraintes qui déterminent les problèmes qui méritent attention. Le paradigme délimite également le jeu des possibles dans la recherche de solutions. La pratique pédagogique qui consiste à demander aux élèves de formuler des problèmes devrait donc tenir compte de ce concept. Les élèves pensent dans un espace-temps culturel déterminé mais le plus souvent latent, qui guide, sans que ce soit toujours dit, le choix et la formulation de ces problèmes.

Le terme de paradigme est devenu d'un emploi extrêmement courant dans les « discours » sur les sciences. Son importation depuis la grammaire dans le vocabulaire de l'épistémologie des sciences en a modifié le sens mais son extension souvent très large a rendu sa compréhension incertaine. Nous allons tenter de la cerner.

le paradigme

Si, bien souvent, la pensée scientifique s'exerce à l'intérieur d'un paradigme qui trace les limites du jeu des possibles à un moment donné, la pratique pédagogique qui consiste à demander aux élèves de formuler des *problèmes* doit donc tenir compte de ce concept. Le paradigme définit de manière latente et non pas explicite les questions pertinentes à un moment donné dans un contexte donné, « *les problèmes qui méritent l'attention des scientifiques* » (B. Latour, 1996).

1. PARADIGME : DÉFINITIONS

un concept à grande extension

La nouvelle habitude, pour étudier le sens d'un mot, consistant à interroger en premier lieu Internet, on peut tout d'abord signaler que Google proposait dix-neuf pages comprenant au total cent-vingt références francophones le jour où la recherche a été faite. Il faudrait aussi interroger les références en langue anglaise puisque Thomas Kuhn, qui a lancé ce terme ancien en épistémologie des sciences en 1970, est américain. Reste à l'internaute averti à faire le tri entre les sens admis par les diverses disciplines universitaires et les élucubrations personnelles qui n'ont aucune garantie de sérieux. Cette abondance souligne au moins la grande popularité de ce terme et la grande extension de son emploi ce qui favorise une forte polysémie sinon même un flottement ou un flou total. Un biologiste, historien des sciences qui y fait appel précise qu'il « *a utilisé le terme de paradigme dans un sens simple,*

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

sans s'embarrasser des nombreuses controverses qui ont suivi son "invention" *par Thomas S. Kuhn* » (M. Morange 1994).

un exemple type

Pour cet auteur, qu'apporte réellement l'usage de ce terme ? Dans l'exemple, que nous développerons plus loin, il s'agit de la désignation d'un accord temporaire entre biologistes sur une meilleure méthode d'approche pour comprendre le phénomène de la transformation cancéreuse.

Les dictionnaires classiques proposent plusieurs significations admises et utilisées :

– Dans le domaine de la grammaire le terme existe depuis 1561 comme nom masculin emprunté au latin paradigma (provenant du grec paradeigma) et il signifie proprement « exemple » (*Dictionnaire étymologique de la langue française*, 1968).
– Grammaire : mot-type qui est donné comme modèle pour une déclinaison, une conjugaison.
– Linguistique (1949) : ensemble des termes qui peuvent figurer en un point de la chaîne parlée, axe de substitution.
– Figure littéraire : ensemble de notions, de réalités ayant un sémantisme commun (synonymes, contraires, etc.) (*Grand Robert de la Langue Française,* 1985)
– Épistémologie : conception théorique dominante ayant cours à une certaine époque dans une communauté scientifique donnée, qui fonde les types d'explication envisageables, et les types de faits à découvrir dans une science donnée (*Trésor de la langue française*, 1986).

un cadre de pensée...

...implicite

Thomas Kuhn (trad. 1972) qui lance ce mot dans son livre intitulé *La structure des révolutions scientifiques* le définit ainsi *:* « *nous entendons par paradigme une sorte de métathéorie, un cadre de pensée, à l'intérieur duquel un consensus est réuni pour définir les questions pertinentes qui orientent les expériences à faire, et qui définissent la science* "normale"*, jusqu'à ce qu'un changement intervienne, qui plus qu'une théorie, est un changement total de perspective* ». En fait, dans les nombreuses éditions successives de son livre, il a tenté de répondre à de nombreuses objections, introduisant lui même une certaine confusion. Plutôt que de revenir à la définition initiale on est donc conduit à examiner les usages qu'en font les historiens des sciences, mais aussi les scientifiques eux mêmes.

Ainsi, Henri Atlan (1999), biophysicien, oppose l'ancien paradigme du programme génétique aux nouveaux paradigmes de l'émergence et de la complexité et parle d'un « e*nsemble d'idées, de conceptions, qui forment un cadre de pensée à l'intérieur duquel on pense, on imagine et on planifie les expériences, on interprète les résultats, on élabore des théories* ».

Par contre son utilisation en histoire des sciences fait hésiter entre une signification essentiellement psychologique, une signification sociologique une signification institutionnelle et une signification réellement épistémologique. Mais l'importance médiatique d'un concept vient peut être de la somme des contre sens que l'on peut faire à son sujet. Les débats et les

polémiques favorisent les oppositions spectaculaires et maintiennent son auteur sur le devant de la scène. Ils ne favorisent pas le travail intellectuel.

2. APPROCHE ÉPISTÉMOLOGIQUE DU PARADIGME

un concept normatif

Chez Kuhn le concept associé à paradigme est celui de *science normale*. Nous serions donc en présence d'un concept *d'épistémologie critique*. Normal, au sens fort du terme, suppose une *norme* à respecter qui exerce une régulation *a priori* et surtout *a posteriori* de l'activité des scientifiques. Ainsi Gaston Bachelard pose en principe que le savoir scientifique est un savoir vrai car il obéit à certaines procédures (certaines normes) de validation. Ces procédures sont à inventer dans chaque situation et ne peuvent être énoncées *a priori* une fois pour toutes. L'un des critères *a posteriori* est précisément la capacité de développement, de progrès du savoir contenu dans certains concepts scientifiques. Le savoir construit et confronté aux observations ne constitue cependant pas une vérité éternelle universelle. Il est donc également *normé* par sa propre *rectification*.

un moment de consensus

La position de Kuhn consiste à trouver dans ces périodes de *science normale* un caractère positif, sinon même une condition de possibilité du progrès des découvertes. La résistance au changement a son utilité pendant un temps. Elle garantit que les scientifiques ne seront pas dérangés sans raisons. Il serait illusoire de croire chercher sans paradigme. La recherche ne peut se passer de ces moments de consensus qui s'appuient sur des observations et des arguments rationnels et aussi sur une part de croyance. Mais les paradigmes se déposent les uns les autres, et il se pose alors la question des modalités de ce changement. G. Bachelard proposait les concepts d'obstacle épistémologique et de rupture (ou de révolution). Georges Canguilhem (1977) nuançait en supposant non pas une rupture brutale unique, mais de nombreuses ruptures successives souvent inaperçues. En fait Kuhn ne reconnaît à la science normale qu'un mode d'existence empirique *comme fait de culture*. Le paradigme c'est un choix d'usagers. Le normal ce n'est pas le normatif mais le commun, l'habituel sur une période donnée, pour une collectivité de spécialistes dans une institution universitaire ou académique. Sa position est bâtarde et Kuhn méconnaît la rationalité spécifiquement scientifique.

un fait de culture

L'explication est plus psychologique ou sociologique qu'épistémologique. Le groupe scientifique, c'est d'abord le lieu d'apprentissage en commun d'une grille inconsciente de lecture du monde avant d'être l'institution qui défend bec et ongle, pour des raisons sociologiques, la sphère de pouvoir qu'elle quadrille. Mais alors comment expliquer les changements de paradigme ?

S'il s'agit de croyance, même au sens faible du mot, le changement est une conversion.

S'il s'agit de psychologie on se demande si les processus rationnels peuvent toucher et modifier les processus inconscients ? Surtout si cet inconscient scientifique est renforcé en permanence par des pratiques collectives, sociales et institutionnelles.

Parler de processus latents volontairement masqués peut conduire à identifier certains aspects des paradigmes avec le concept d'idéologie. Le concept de paradigme serait alors un moyen nouveau et plus complexe de penser la notion d'idéologie dominante, donc de penser les rapports entre savoir, culture sociale et politique.

de la philosophie...

...dans la science

Dominique Lecourt (1993 p. 35-36 ; 87-102) analyse la *révolution scientifique* proposée par le livre de Ilya Prigogine et Isabelle Stengers intitulé « *La nouvelle alliance : Métamorphose de la science* » (1979). C'est selon leurs auteurs un nouveau modèle pour la pensée scientifique, ou, dans un vocabulaire emprunté à Thomas Kuhn, un nouveau paradigme. Pour Dominique Lecourt cette « *philosophie de la nature* » cette « *nouvelle alliance* » qui réconcilie l'homme et la nature n'est pas nouvelle. Il faut y voir la résurgence, sous forme d'un positivisme inversé, de thèmes anciens développés en particulier par F.W. Schelling (1797). En d'autres termes on découvre la présence de thèmes philosophiques au cœur de la recherche fondamentale. Selon Dominique Lecourt, « *Gérald Holton propose la présence récurrente de* "thémata" *qui structurent les efforts d'invention* » et Thomas Kuhn propose la notion équivoque de paradigme, tandis que Ludwig Wittgenstein avait auparavant parlé de « *gonds autours desquels tourne la pensée d'une époque* ».

une présence latente

Selon G. Canguilhem (1978) « *les analogies ou modèles ne se présentent pas d'eux mêmes. Ils sont choisis. Et l'inspiration de leur choix rend sensible la présence latente de valeurs paradigmatiques, de schèmes d'aperception collectifs, caractéristiques d'un espace-temps culturel déterminé* ». Mais c'est Michel Foucault (cité par G. Canguilhem 1977 p. 86) qui en donne le meilleur exemple. « *Ce schéma recteur – pour ne pas dire ce paradigme – rend compte de ce qu'on peut nommer avec Michel Foucault, les* "régularités énonciatives" *d'une époque ou l'objet de l'économie, comme chez Ricardo, l'objet de la physiologie, comme chez Magendie, sont des systèmes sur lesquels l'histoire et ses aléas n'ont pas de prise* ».

3. APPROCHE SOCIOLOGIQUE DU PARADIGME

Cette *science normale* peut être regardée, négativement, comme une dogmatisation temporaire, une sorte d'inertie intellectuelle, une sclérose de la réflexion liée à l'âge des chercheurs mais aussi au maintien de positions de pouvoir face à des remises en cause

intellectuelles qui risquent de s'accompagner de remises en cause de positions dominantes, de postes, et de crédits. On est alors conduit à rechercher les divers processus purement négatifs de dogmatisation (G. Rumelhard 1979) qui se révéleront à la longue comme des obstacles à l'avancée de la recherche (généralisations abusives, métaphores non contrôlées, arguments d'autorité, fonctionnement fortement institutionnel des collectivités scientifiques).

séduction de cette épistémologie…

C'est certainement ce qui a fait la séduction de l'épistémologie kuhnienne. On comprend qu'elle ait trouvé un large écho chez les chercheurs eux mêmes dans la mesure où ils pouvaient retrouver avec humour, ironie ou amertume une description du fonctionnement ordinaire sinon normal de leurs laboratoires et de la soit-disant communauté des chercheurs qui ressemble souvent à une jungle. La science normale est faite de concurrence acharnée entre laboratoires, de liens entre clientélisme et choix de programmes de recherche, de liens entre la foi dans une hypothèse et la survie d'un groupe. On voit mal comment introduire cette dimension du travail scientifique dans un enseignement de lycée.

soutenue par des représentations sociales

On peut aussi imaginer, que tel paradigme, par exemple le concept de *programme génétique* qui a eu un rôle moteur à un moment de la recherche mais qui est actuellement unanimement remis en cause, favorise, par les représentations sociales qu'il soutient, l'attribution de crédits pour la mise en œuvre d'un programme de recherche sur le génome humain. Il est alors entretenu pour des raisons idéologiques volontairement masquées. C'est certainement le cas du concept de *programme génétique*. Cette vision sociologique n'est pas au cœur de la pensée initiale de Kuhn, mais elle a été comprise dans ce sens et elle peut expliquer la persistance de certains paradigmes par delà leur remise en cause dans le groupe des scientifiques.

Cette position n'a aucun intérêt pour l'enseignement des sciences, en particulier pour analyser certaines difficultés d'assimilation des élèves.

Pour mieux cerner ces divers sens et conformément au sens premier du mot paradigme, commençons par analyser des exemples en biologie, pour tenter d'en extraire une signification commune. On remarquera que T. Kuhn prend ses exemples en physique, et qu'il n'est pas le seul à avoir tenté de conceptualiser cet ensemble de questions.

4. ANALYSE D'EXEMPLES

4.1. Immunologie

Selon Anne-Marie Moulin (1991 et 1995) l'immunologie est une science aux trois paradigmes. « *L'immunologie n'a pas connu de révolution scientifique équivalente de la théorie de la gravitation newtonienne ou de la relativité en physique. Mais*

trois paradigmes :

elle a vu, au cours de ses cent ans d'existence se succéder au moins trois paradigmes centraux : le paradigme défensif, le paradigme sélectif et le paradigme cognitif. Chaque nouveau paradigme s'accompagne d'un agrandissement du domaine », mais aussi d'un déplacement depuis la pratique médicale vers la biologie théorique. Plus exactement ces trois paradigmes ne se succèdent et ne se supplantent pas véritablement. Ils coexistent même au niveau de la recherche et fournissent dans des chapitres différents des grilles de lecture qui ne s'excluent pas. Au niveau de la vulgarisation et des représentations sociales médicales le premier paradigme semble définitivement indépassable.

• ***Premier paradigme***

une représentation du mal

Concernant le premier paradigme son point de départ est constitué par le couple organisme/agent pathogène que soutient la métaphore guerrière de l'attaque et de la défense. Dès 1943 G. Canguilhem (1966 p. 12) avait noté que « *la théorie microbienne des maladies contagieuses a dû certainement une part non négligeable de son succès à ce qu'elle contient de représentation ontologique du mal* ». De plus cette représentation est optimiste car en désignant, en nommant, en objectivant par des observations et des cultures et en localisant un être vivant pathogène elle ouvre la possibilité d'une action curative (médicaments, antisepsie, sérothérapie) et même préventive (asepsie, vaccination). En 1969, Claudine Herzlich dans un travail de psychologie sociale réalisé à partir d'enquêtes soulignait le caractère « *inconsciemment déculpabilisant* » de cette représentation d'une atteinte externe à l'individu. Le concept de soi et de non soi tel qu'il est vulgarisé reste dans ce paradigme de l'attaque/défense. Inversement la réussite du pastorisme a renvoyé au second plan l'approche épidémiologique qui trouvait un écho chez les hygiénistes en faisant jouer un rôle aux facteurs de risque de type socio-politiques (pauvreté, condition d'habitat, d'hygiène…). Cette représentation existe de manière latente chez les élèves et guide des formulations de problèmes selon la métaphore de l'attaque et de la défense (Rumelhard, 1990).

un paradigme opératoire

Un premier agrandissement du domaine d'étude passe presque inaperçu dans l'enseignement. En 1898 Jules Bordet déclenche des réactions immunitaires avec des cellules apparemment inoffensives : les globules rouges. Il ne s'agit donc plus de pathologie, même si les transfusions et plus tard les greffes d'organes sont faites dans l'intention de soigner. Par la suite le concept d'antigène prend un essor quasi illimité. La plupart des molécules, dans certains circonstances appropriées, peuvent provoquer une réaction immunitaire. Voilà un paradigme opératoire qui ouvre un champ de travail immense. Le concept journalistique de « *self, not self* », mal traduit par « *soi/non soi* », s'inscrit de manière erronée dans ce paradigme (Jacques Dewaele 1993).

• *Deuxième paradigme*

connaître
et être reconnu

Le deuxième paradigme, nommé « *paradigme sélectif* », nous fait quitter le domaine proprement médical pour installer l'immunologie au cœur de la biologie dont elle partage les grandes options darwiniennes. L'antigène se borne à sélectionner des structures préexistantes, molécules, ou cellules. La génétique offre une combinatoire illimitée d'immunoglobulines qui forment des anticorps, des marqueurs de surface des cellules, ou des récepteurs. Mais les discussions sur l'évolution des vivants restent bien souvent à la marge de l'enseignement et sont vulgarisées en termes néolamarckiens qui semblent plus facilement acceptés par le public.

• *Troisième paradigme*

construire
les notions…

…puis les unifier

Le troisième paradigme, nommé « *paradigme cognitif* », met au premier plan le fait que les antigènes doivent être reconnus et déchiffrés dans un contexte particulier (celui des cellules infectées par un virus par exemple). Le rapprochement avec le système nerveux a conduit à proposer, par analogie, les termes de cerveau mobile, de détecteurs mobiles, d'effecteurs mobiles, de médiateurs (cytokines) qui agissent à faible distance ou sur la cellule sécrétrice elle même (sécrétion paracrine ou autocrine). Le langage des cellules emprunte au vocabulaire de la communication et à l'idéologie de la coopération cellulaire. L'ensemble des molécules et des cellules forme un système non seulement anatomique, mais fonctionnel, et plus précisément un réseau. Ce concept de réseau proposé par Niels Jerne dès 1975 ne prend que lentement de l'importance en fonction de ses applications thérapeutiques. Il est absent de l'enseignement et de la vulgarisation. Ici encore, pour des raisons de recherche de crédits, d'intéressement des décideurs, la biologie générale ou théorique est mise au second plan. Cette unification puissante des systèmes nerveux, endocriniens et immunitaires offre un nouveau domaine de recherches. Mais faut-il commencer l'enseignement par cette présentation unifiée ? Des raisons pédagogiques peuvent conduire à proposer de construire d'abord séparément ces divers concepts avant de les unifier.

• *Paradigme et représentation sociale*

Au cœur du premier paradigme se situe le concept de *vaccination* qui a joué un rôle moteur important dans la recherche. S'appuyant au départ sur une observation empirique chez l'homme (variole) puis chez la vache (vaccine), il est devenu avec Pasteur un immense programme de travail. La variole constitue un « *modèle royal* » (Anne-Marie Moulin, 1996) à la limite du mythe. La rationalité vaccinale ne présente pas, loin s'en faut, une figure unique, mais multiple, réfractée dans la géographie et l'histoire. Par ailleurs, dès le début, elle n'est pas uniquement préventive, mais également curative, sinon même immunostimulante de manière générale. La métaphore de la vaccine

choisie par Pasteur, bien qu'il n'ait jamais travaillé sur ce virus, s'est révélée extraordinairement heureuse. Son idée d'atténuation générale possible des virus et le fait de la non récidive des maladies virulentes relève plus de la *croyance* que de l'hypothèse raisonnable. Pasteur ne souligne pas *l'absence de théorie véritable* sous tendant le succès d'une méthode qui restait empirique. Le programme de Pasteur reposait plus sur une métaphore que sur un concept. L'immunité ne figurait que comme un « *concept en attente* » pour reprendre l'expression de G. Canguilhem, dont le contenu restait à définir. On ne doit pas pour autant oublier les accidents mortels imprévisibles dus à la vaccination contre la rage. La diffusion de la vaccination sous forme de règles, de lois, d'obligations, d'interdictions, d'institutions, mais aussi d'utopie médicale d'une prévention idéale rendent sa remise en cause à peu près impossible au niveau social. Il suffit de lire les réactions (1) au projet actuel de supprimer le vaccin du BCG.

un concept en attente

• ***En conclusion***

On trouve donc sur cet exemple beaucoup, sinon toutes les caractéristiques d'un travail de recherche en biologie.
– Extension audacieuse et aventureuse à partir d'un exemple qui se révèle *a posteriori* très particulier.
– Observations empiriques généralisées abusivement.
– Erreurs dramatiques.
– Rationalités conceptuelles liée à des expériences méthodiques.
– Théories et croyances qui ouvrent et guident un programme de travail réellement opératoire couronné par des succès thérapeutiques.
– Diffusion sociale d'idées et de résultats qui rencontrent le soutien des mythes, des utopies, des idéologies de l'inconscient collectif, des nécessités et des contingences matérielles et financières de la production pharmaceutique industrielle.
– Cet ensemble exerçant en retour, sous la pression de ses succès, une forte demande sur les recherches biologiques et médicales, et plus largement sur toute activité préventive, prédictive, ou de protection.

remettre en cause…

On peut ici soutenir qu'il fallait « *laisser du temps* », sans tout remettre en cause immédiatement, pour que le patient travail conceptuel et expérimental réduise les audaces, les risques, les dangers et les généralisations abusives, construise la complexité réelle des faits, l'efficacité thérapeutique réelle. C'est ce que traduit la création du terme nouveau de *vaccinologie.* On peut supposer que la formulation d'un principe nouveau, le *principe de précaution*, que le pouvoir politique tente d'inscrire

…en permanence

(1) *Le Monde* 20 mai 2004.

dans la constitution pour des raisons politiques plus que philosophiques aurait empêché tout ce travail. Étienne-Émile Baulieu (2) explique que « *la recherche et l'innovation reposent sur une évaluation des avantages et des risques. L'existence de risque ne peut être sanctionnée* a priori *: elle doit être mise en face des résultats escomptés. Institutionnaliser des blocages vis-à-vis de ce que l'on ne connaît pas, la méfiance face au progrès, donne crédit aux incantateurs de la peur* ».

les représentations résistent

On peut aussi se demander si la notion de paradigme n'est pas essentiellement liée aux représentations sociales qu'elle renforce ou suscite. La science peut posséder une dimension mythique, mais elle finit par s'en défaire pour placer l'esprit humain devant une nécessité étrangère à ses représentations de base. Comme l'explique Claude Debru (1998 p. 429) « *ceci ne signifie pas que la science ne peut chercher à donner réalité à des fictions qui sont autant de représentations possibles. Mais la science ne peut s'accorder aux notions les plus primitives que l'homme exprime dans ses narrations mythiques. Bien plutôt, la science suscite sans cesse des représentations inédites. Les réponses que le scientifique recueille dans son dialogue avec la nature ne correspondent ni nécessairement, ni précisément aux questions et aux désir les plus profonds de l'homme* ». Les représentations sociales résistent. L'essentiel du travail d'enseignement scientifique devient un travail de deuil, de renoncement à ces représentations.

Bien évidemment il faut également se préoccuper de l'efficacité pratique des notions scientifiques au niveau médical et agricole (santé, nourriture). L'enseignement peut-il s'y limiter ?

le deuil impossible

Cette situation de l'immunologie est *exemplaire*, donc paradigmatique, au sens ou elle cumule beaucoup sinon toutes les caractéristiques attribuées au paradigme dans sa signification vulgarisée. Mais on hésite à mettre au centre de la notion soit la première conclusion – ne pas tout remettre en cause trop rapidement – soit la deuxième – faire le deuil de certaines représentations sociales qui perdurent et maintiennent le paradigme au niveau social alors qu'il est remis en cause au niveau scientifique. On peut aussi se demander s'il est possible de caractériser par le seul mot de paradigme des questions aussi contradictoires, conceptualisées de manière interdisciplinaire par de nombreux auteurs biologistes, épistémologues, historiens, journalistes, sociologues, etc.

4.2. Programme génétique

Le concept de *programme génétique* (Henri Atlan, 1999 p. 91, Marie-Christine Maurel et Paul-Antoine Miquel 2001) est un bon exemple d'une métaphore (Évelyne Fox Keller, 1999) ayant

(2) *Le Monde* 26 mai 2004. Interview de E-E Baulieu et de Hubert Reeves. Nombreux articles dans *Le Monde* du mercredi 2 juin 2004.

eu un rôle heuristique (inventif) au moins temporairement à un moment donné de la recherche. Dans les années 1965 ce concept rend compte de situations expérimentales liées à l'invention du concept de code génétique, *et* il joue un rôle moteur dans la recherche. (François Jacob, 1970 p. 274) a contribué à populariser l'idée que l'organisme peut effectivement être décrit comme une machine cybernétique. Il soutient « *le paradigme de l'organisme-machine informatique et le paradigme de l'hérédité comme information ou transmission d'un message* » (Anne Fagot Largeault, 2002 p. 540). « *Organes, cellules molécules sont alors unis par un réseau de communications. Ils échangent sans cesse signaux et messages sous forme d'interactions spécifiques entre constituants. La souplesse du comportement repose sur des boucles de rétroaction ; la rigidité des structures sur l'exécution d'un programme rigoureusement prescrit. L'hérédité devient le transfert d'un message répété d'une génération à la suivante. Dans le noyau de l'œuf est consigné le programme des structures à produire* ».

l'hérédité comme information

Mais ces deux paradigmes jouent également un rôle idéologique car ils laissent supposer que notre esprit est, ou peut être, programmé. La notion commune de « patrimoine génétique » est ambivalente (Dominique Lecourt, 1993 p. 125-135). Le patrimoine génétique est fétichisé. Il ne faut pas toucher au patrimoine, et le garder comme un bien précieux, ou bien au contraire il faut le faire fructifier. La métaphore met en communication le domaine scientifique et le domaine social, ce qui lui confère une forte résistance pour des raisons non dites, volontairement cachées. Cela rend difficile sa remise en cause au niveau de l'enseignement et de la vulgarisation scientifique. Il s'agit de représentations qui conduisent à fétichiser, diviniser, ou diaboliser le patrimoine génétique, qui guident la pensée commune, et l'acceptation ou le refus par le grand public, mais également par les hommes politiques et les Comités d'éthique, de techniques biologiques telles les OGM, les expériences sur les embryons surnuméraires lors des FIVETE. Il s'y ajoute bien souvent une *éthique de la peur*.

le patrimoine génétique

Pour revenir au plan épistémologique une métaphore ne contient pas en elle même *les conditions* et *les limites de son emploi* (à l'inverse d'un modèle très formalisé ou mathématique). Les limites d'emploi d'une métaphore scientifique n'apparaissent bien souvent qu'*a posteriori*, lors de l'extension d'un concept à des situations nouvelles, et avec la nécessité d'inventer une nouvelle métaphore. Cette remarque se transpose aisément au niveau didactique.

La question d'enseignement conduit à se demander s'il faut continuer à parler de *programme génétique* dans un premier temps, puis à remettre en cause ce concept, dans un deuxième temps. Autrement dit si l'essentiel de l'enseignement scientifique ne réside pas dans la rectification d'un concept et non pas dans son énonciation conforme à la vérité dernière (au sens de plus récente et non pas d'ultime) au niveau scientifique.

4.3. Encéphalopathies

Le cas des *encéphalopathies subaiguës spongiformes transmissibles* (ESST) et en particulier du prion offre plusieurs exemples de remise en cause de notions *communément admises* a propos des maladies infectieuses. On a longtemps admis que la forme spatiale des protéines dépendait directement et uniquement de la séquence linéaire des acides aminés. Pourquoi admettre ceci ?

une séquence linéaire

Simple mise entre parenthèses d'une question dont on ne pouvait pas se préoccuper ? Seule la structure linéaire des protéines était accessible. Toute analyse en 2D ou 3D a longtemps été impossible.

Simplification hasardeuse, vraie dans quelques rares cas étudiés en premier, et qui ont permis de progresser ?

Le cas des anticorps puis des prions conduit à penser autrement. Les protéines du stress, les *heat shock proteins*, d'abord décrites comme des réponses catastrophiques de l'organisme en situation d'exception, ont ensuite été comprises comme des éléments régulateurs normaux de la conformation spécifique des anticorps. Le concept de *protéines chaperons* devient un concept central. Ce qui était un cas particulier est intégré comme cas général. Ce qui était supposé cas général – les protéines n'ont qu'une seule forme possible et n'en changent pas, sauf en cas de dénaturation irréversible – devient un cas particulier. Or les protéines du prion changent spontanément de forme, et ceci par simple contact avec une autre.

des distinctions

a priori...

ou *a posteriori*

Autre donnée admise et généralisée abusivement celle des durées d'incubation ordinaires des maladies infectieuses. On admet quelques jours à quelques semaines, par simple généralisation d'observations courantes. L'incubation des maladies à prions est de plusieurs années. Pasteur a mis beaucoup de soin à distinguer les maladies microbiennes et les intoxications. Pourquoi, puisque le tétanos offre les deux à la fois ? Quelle était la nécessité théorique de cette distinction à son époque ?

Quelle serait la nécessité de cette distinction pour des élèves débutants ? Toute distinction *a priori* est inutile. Pour l'empirisme il suffit de se laisser guider par les faits et les observations. Faut il distinguer les maladies génétiques et les maladies microbiennes ? Pourquoi, après tout, une maladie ne seraitelle pas à la fois génétique **et** infectieuse. Faut-il dire « *maladie microbienne* », ou « *théorie microbienne des maladies* », laissant au moins le doute sur le caractère monocausal de ces maladies et l'intervention éventuelle du milieu extérieur ou intérieur. Pasteur a également passé beaucoup de temps pour prouver qu'il n'y a pas de génération spontanée des maladies ni des microbes. S'agit-il d'un manque de docilité aux faits, d'un dogmatisme injustifié qui constitue un obstacle aux découvertes, ou bien d'une croyance généralisée abusivement, mais indispensable temporairement au progrès du travail ? En supposant comme parfaitement séparées les maladies par

intoxication, les maladies génétiques, les maladies infectieuses, les maladies spontanées, il reste que, selon les circonstances, les maladies à prion obéissent aux quatre causes. Commencer par ce nouveau paradigme de maladie, est-ce créer une unité plus large, ou une confusion ? À chacune de ces maladies est attachée une représentation sociale forte, culpabilisante ou déculpabilisante, ontologique ou dynamique qui empêche l'unification.

4.4. Différenciation des cellules

• *Exécution irréversible du programme*

le programme ne se déroule pas à l'envers

On a longtemps affirmé de manière péremptoire, que « *la dédifférenciation des cellules était impossible* ». On peut caractériser cette affirmation comme un paradigme car en fait, on admettait, implicitement, que le génome de la cellule différenciée se trouve dans un état d'activité dicté par l'exécution d'un programme, et qu'il n'est pas question ensuite que le programme se déroule à l'envers. Cela implique également que tout ce qui concerne le génome se trouve dans le noyau, et qu'aucun élément du cytoplasme n'intervient. Le programme est entièrement contenu dans le génome, et cette affirmation est également implicite. L'affirmation était soutenue en particulier par les résultats des croisements en génétique mendélienne et morganienne classique qui ne mettent en jeu que les chromosomes, mais aussi par les difficultés à observer les organites du cytoplasme et à analyser leur rôle. Les expériences de transfert de noyau de cellules adultes dans un ovocyte, et la dédifférenciation observée chez les mammifères a conduit à dire que « *cela apporte la preuve formelle que le noyau de la cellule différenciée, transféré dans un ovocyte, est reprogrammé par l'ovocyte* » (H. Atlan 1999). Ici encore l'empirisme peut affirmer qu'il suffit de concevoir une expérience et d'en observer les résultats. Toutefois des expériences plus anciennes de transfert de noyau réussies chez les Amibes (Rostand 1966) et filmées par Commandon et De Fonbrune, n'avaient pas conduit à cette affirmation. Elles montraient au contraire le rôle essentiel du noyau. De même les expériences de Gurdon (1970) sur les batraciens qui ouvraient la discussion longtemps avant le cas des Mammifères, mais sans retentissement. Entre temps la question du rôle respectif du noyau et du cytoplasme dans le transfert du patrimoine génétique s'est modifiée. La prédominance du « tout génétique » a été battue en brèche. Mais comme nous l'expliquions précédemment, la notion de programme génétique rencontre une représentation sociale forte. Elle continuera longtemps à guider chez les élèves la formulation des problèmes concernant la part et l'importance respective du noyau et du cytoplasme.

• *Clones*

De ces pratiques de transfert de noyau pour décider du rôle respectif du cytoplasme et du noyau, au clonage reproducteur le changement de problème et de paradigme est considérable.

Les termes de clone et de clonage véhiculent actuellement une « *représentation culturelle* » très active et fortement contagieuse (Claude Debru, 2003 p. 385-397). Initialement au milieu des années 1950, le terme apparaît chez les botanistes et les agronomes. *Klôn* signifie en grec petite branche, et le verbe *klaô* signifie couper, tailler des branches, fragmenter. Sur cette origine se greffent deux images : celle de la reproduction végétative, et celle de la fragmentation. C'est l'ensemble des individus obtenus sans fécondation, à partir d'un seul individu, par parthénogenèse ou par bouturage. De cette pratique à celle du transfert de noyaux, puis à la réalisation du clonage reproductif chez les batraciens (John Gurdon, 1970), puis chez les mammifères, puis chez l'homme le chemin est long et le changement de signification important.

narcissisme individuel

Clone ne signifie plus un groupe de membres identiques, mais un membre individuel de ce groupe. « *Ce n'est plus le groupe, la reproduction en nombre, qui est en vue et peut susciter l'effroi, mais l'individu, et avec cette signification, c'est une certaine culture, non plus de la production de masse, mais du narcissisme individuel, qui s'introduit. Le terme de clonage en est donc venu à désigner des réalités très différentes avec des connotations quasiment opposées et une très grande ambivalence.* » Une base expérimentale assez semblable soutient cette fois des problèmes, mais aussi des représentations, sinon des fantasmes, très différents.

• *Biologie réductionniste et intégrative*

Autre balancement entre deux pôles. D'un côté le *réductionnisme biologique* qui cherche au niveau des molécules la réponse à toutes les questions de biologie, de l'autre la *biologie intégrative* qui recherche au niveau de la cellule entière, de l'organisme entier, de l'écosystème, les réponses aux questions de fonctionnement à l'aide des concepts de système, de régulation, d'information. Ces deux pôles constituent-ils deux paradigmes entre lesquels le balancier va et vient ? Mais peut-on parler de paradigme puisque ni l'un ni l'autre ne disparaissent. Comment se traduit au niveau social cette différence d'attitude entre une biologie réductionniste et une biologie intégrative ? Les individus s'éprouvent comme des totalités non décomposables. Ils résistent à toute mécanisation, à toute parcellisation. Ceci est très vif dans le choix, par les patients, de la consultation d'un médecin généraliste ou d'un spécialiste. Ceci se marque aussi dans la résistance sociale à toutes les situations visant à mécaniser le sport, l'apprentissage, le travail productif, etc. Du côté scientifique le réductionnisme serait une étape indispensable du travail toujours en tension avec la nécessite de penser l'organisme comme une totalité organisée. Mais il est également possible que cette querelle du réductionnisme soit « *totalement vaine* » (C. Debru, 1998 p. 8-12). La formule de Jean Perrin (1970) « *expliquer du visible compliqué par de l'invisible simple* » n'a aucun sens en biologie et relève d'une fascination pour le paradigme de la science physique.

réduction et intégration

4.5. Le paradigme du cancer

La mise en place du « *paradigme des oncogènes* » s'établit, selon Michel Morange (1994), entre 1981 et 1984. Il faudrait citer ici en totalité le chapitre 19 (p. 287-303) de son *Histoire de la biologie moléculaire*, pour bien comprendre la facilité avec laquelle le paradigme a été accepté. Le mot cancer n'a pas la même signification dans les différentes disciplines biologiques. « *Pour les médecins une théorie du cancer devait permettre de comprendre une évolution progressive, son origine multifactorielle et inclure la corrélation bien établie entre les effets mutagènes et cancérigènes de nombreux composés chimiques ou traitements physiques. Pour les biochimistes, un modèle du cancer devait prendre en compte les nombreuses altérations, biochimiques ou structurales, des cellules cancéreuses. Pour le biologiste cellulaire, le cancer était une maladie perturbant les communications entre cellules. De plus de nombreux cancers semblaient liés à l'existence de cassures, au sein des chromosomes, suivies de translocations entre chromosomes des fragments ainsi formés, phénomène bien visible au microscope. Pour les virologistes, la majorité des cancers humains avait probablement une origine virale. Si tel n'était pas le cas, les mécanismes de l'oncogénèse non virale devaient en tout cas être identiques aux mécanismes d'oncogénèse induite par le virus. Pour les biologistes moléculaires, l'isolement et la caractérisation des gènes du cancer était un objectif naturel [...]. Le paradigme des oncogènes permettait de réunir ces conceptions différentes du cancer grâce à une alliance féconde entre les concepts de la biologie moléculaire et ceux des autres disciplines biologiques [...] dans ce nouveau paradigme, même des visions opposées du cancer étaient réconciliées* ».

intégrer les conceptions des cancers

Réunir, réconcilier, intégrer des conceptions opposées, voilà ce que l'on nomme paradigme. On peut par ailleurs se demander quelle est la représentation sociale du – au singulier – cancer ? Le singulier ontologique de la pensée commune contraste avec le pluriel antagoniste des biologistes et des médecins. Cette représentation sociale diffuse-t-elle, et exerce-t-elle une rétroaction sur la recherche ?

4.6. Le paradigme de la forme

la forme absente

Dans l'analyse des vivants les questions de structure, de fonction, d'organisation, de développement et plus récemment d'évolution, en relation avec un milieu extérieur puis intérieur sont restées au premier plan. Par contre le *concept de forme* (Daniel Andler, 2002 p. 1049-1130) qui joue un rôle fondamental dans l'art (René Huyghe, 1971), n'a cessé de reculer en biologie. Plusieurs raisons y contribuent. La génétique des populations qui est au cœur de la théorie de l'évolution « *n'a rien à dire sur la forme des organismes. Elle est constituée d'une pure cinématique formelle, qui fait abstraction des qualités des objets et se contente de décrire leur rythme évolutif*

la forme
c'est le bord

sous certaines conditions spécifiées » (Jean Gayon 1992). De plus, selon René Thom, « *la forme c'est le bord, l'intérieur n'est que matérialité vide* ». La forme est également un tout non décomposable en unités élémentaires, en parties.

On peut seulement la transformer par une opération mathématique ou géométrique. L'opération de transformation n'est-elle pas le paradigme de toute activité expérimentale et de production : « *transformer pour comprendre et comprendre pour transformer* ».

la molécule
c'est l'intérieur

La biologie moléculaire oblige à décentrer le regard de la forme apparente et à rechercher dans des niveaux plus profonds, plus intérieurs, la logique du vivant. La génétique embryologique a longtemps été dans l'impossibilité de relier développement de l'embryon et formation progressive de la forme. Avec les concepts de *régulation génétique*, de *gène homéotique* et d'*hétérochronie* la génétique du développement peut prendre en compte les ordres, les vitesses, les durées, les lieux d'expression des gènes. Mais ici également elle doit abandonner le « tout génétique » pour prendre en compte la possibilité d'un « *choc initiateur (extérieur) responsable d'une rupture de symétrie* », responsable de l'acquisition d'une polarité (Hervé Le Guyader, 1992). Voici donc une situation qui permet d'observer la « *(ré)apparition actuelle d'un paradigme de la forme* » ou d'un « *épistémé* » pour utiliser le concept de Michel Foucault (1971, p. 31-38).

5. PARADIGMES MÉTHODOLOGIQUES

Qu'est-ce qu'une *discipline de recherche* sinon à un moment donné, un ensemble de techniques, de questions, de problèmes, admis par un groupe. Sa constitution est une étape indispensable même si toute nouvelle découverte se situe à l'intersection de plusieurs disciplines, à un moment donné il faut accepter un ensemble de techniques, de concepts, de vérités admises, de méthodes expérimentales comme *des principes limitatifs* (G. Rumelhard, 2003) mais qui permettent d'inventer de manière collective et anonyme, par delà le génie individuel. La véritable création ne consiste pas à s'affranchir de toute règle, de toute technique, à faire n'importe quoi, à tout métisser, tout confondre, mais à assimiler des règles, à les mettre en œuvre puis à les remettre éventuellement en cause, à les transgresser.

Ne peut on dénommer cela un paradigme ? Certains auteurs l'ont proposé. Pour C. Galpérine et J. Gayon (2004, p. 151-155) « *les contours scientifiques d'une discipline correspondent assez bien à ce que le philosophe Thomas Kuhn a appelé un paradigme, c'est à dire quelque chose qui est à mi chemin entre un modèle de recherche imitable et une matrice sociologique et institutionnelle (normes, canaux d'échange, etc.) construite spécifiquement par les communautés scientifiques* ». La

notion est autant intellectuelle que sociologique. Dans ce cas apporte-t-elle clarification ou confusion ?

La physique n'est pas le paradigme de toute science, mais elle contient une part de fascination qui séduit les biologistes qui adhèrent au réductionnisme physico-chimique. Anne Fagot Largeault (2002 p. 485-575) a bien montré dans quel mépris a longtemps été tenue l'épistémologie de cette biologie « *qui n'a pas encore atteint sa maturité* ». Le positivisme logique, ou plus précisément le *principe de réfutation* (« *falsifiability* ») de Karl Popper a également exercé une certaine séduction. Yvette Conry (1981, p. 163) a montré de manière définitive que ce principe est métaphysique et idéologique. « *C'est dans les actes mêmes du savoir qu'il faut chercher non pas leurs raisons d'être mais leurs moyens de parvenir (Canguilhem, 1977 p. 20)* » et non pas dans un principe énoncé *a priori*, extérieur et antérieur au travail des scientifiques. Mais la fascination de certains biologistes n'est pas à la veille de s'estomper.

la biologie n'a pas atteint sa maturité

La logique n'est pas le paradigme de toute argumentation scientifique en biologie. Voilà un autre cas qu'il faudrait développer en s'appuyant sur les travaux de Claude Bernard qui a bien montré que « *la logique seule ne suffit pas* » (C. Debru, 1998 p. 160 sv).

On a bien du mal à penser que cet ensemble complexe et varié de situations puisse s'analyser avec ce seul concept de paradigme ! On pourrait avoir le sentiment d'un glissement progressif de signification au fur et à mesure des exemples cités. La responsabilité en revient à Kuhn lui même qui a favorisé l'extension et l'ambiguïté de son concept initial, lui faisant ainsi perdre sa faculté de clarification. De nombreux autres concepts ont été proposés : concept « en attente », épistémé, schéma recteur, régularité énonciatives, discipline de recherche, obstacle épistémologique, rupture épistémologique… pour penser le versant proprement épistémologique de cet ensemble. Quant au versant des représentations sociales, des mythes, des idéologies, il est également largement travaillé.

6. REFUS DE TOUT PARADIGME : EMPIRISME ET « BRUTISME »

Le refus de toute théorisation, très forte chez les adeptes d'un positivisme dogmatique, concerne également l'acceptation de l'existence d'un paradigme, du moins dans sa signification épistémologique.

faits bruts

Le « brutisme » c'est le fait de croire à l'existence de faits bruts, indépendamment de toute théorie, ou de toute interprétation. Si l'on pense que le progrès résulte uniquement de l'observation de faits bruts, si l'on s'en tient de manière crispée au plus près des faits, observés sans idée préconçue et ou provoqués par des expériences, en ayant peur de toute

extension et de toute anticipation, évidemment toutes ces questions de paradigme ne se posent pas. L'empirisme ne pense pas, il attend, il n'anticipe pas, il s'en tient aux faits qui se proposent spontanément à lui, il n'a pas de procédés ni d'audace pour anticiper les faits.

anticiper les faits

De plus, bien souvent, les considérations qui soutiennent le paradigme sont très abstraites et ne modifient pas l'utilisation concrète des outils et des techniques au laboratoire. C'est le cas de la génétique par exemple. Henri Atlan (1999 p. 63) précise que les considérations très abstraites concernant l'ADN conçu comme « *programme ou donnée* », n'intéressent que quelques personnes impliquées dans ce genre de réflexion théorique. Là ou ces réflexions théoriques deviennent relativement importantes, c'est lorsqu'il ne s'agit plus seulement de la pratique des laboratoires, mais aussi de la compréhension des phénomènes par les biologistes eux mêmes. Cette question est illustrée en bioéthique « *par la très grande difficulté que l'on rencontre pour convaincre qu'il y a une différence de nature quant au risque entre la thérapie génique somatique et la thérapie génique germinale* ».

des obstacles…

Autre débat théorique qui risque de n'avoir aucune incidence pratique dans la formulation des problèmes : les formulations de type pseudo-lamarckien sont largement utilisées dans la vulgarisation (finalité, intentionnalité, anthropomorphisme), mais elles restent en dehors du champ de préoccupation de la plupart des chercheurs, et ne les empêchent pas de travailler au laboratoire. Les élèves, quant à eux, ignorent les enjeux de ces débats qui leur semblent bien étrangers.

…à l'assimilation du savoir

Les scientifiques ne se soucient pas des représentations sociales qu'ils suscitent, qu'ils renforcent, ou qui créent des obstacles à l'assimilation du savoir, car ils pensent que ce ne sont pas des obstacles à la recherche. Celle-ci progresse d'après eux essentiellement grâce aux progrès techniques. Le scientifique ne se soucierait que d'efficacité médicale ou agricole autrement dit de la formation d'ingénieurs non pas de savants. Cette thèse de l'efficacité est du moins mise en avant pour rechercher des crédits et des contrats. On pourrait invoquer ici la dimension institutionnelle des paradigmes.

Certains paradigmes se remplacent l'un l'autre au niveau de la recherche scientifique, mais persistent comme représentation sociales car il s'agit de métaphores ambivalentes, ayant aussi une fonction idéologique.

En conclusion des quatre dimensions épistémologique, institutionnelle, psychologique et sociologique des paradigmes, la première pourrait, de manière privilégiée, donner lieu à un travail didactique. C'est du moins une position théorique possible mais contestée. En sélectionnant les situations, dans cet ensemble de réflexions et d'exemples analysés, nous pouvons ouvrir, dans le domaine proprement didactique, un *champ de recherche et un programme de travail* sur les limites plus ou moins inconscientes, ou latentes qui guident la

une réflexion abstraite

formulation de problèmes par les élèves eux mêmes, en relation avec leurs connaissances acquises, les observations et les expériences évoquées ou réalisées en cours. Les exemples de paradigmes doivent aussi permettre d'analyser les représentations qui font obstacle à la formulation des problèmes, et à la recherche de solutions possibles. Sous cet angle, les dimensions institutionnelles, psychologiques et sociologiques peuvent enrichir cette recherche d'obstacles.

Guy RUMELHARD
Lycée Condorcet Paris
UMR STEF ENS Cachan – INRP
guy.rumelhard@wanadoo.fr

BIBLIOGRAPHIE

ANDLER, D. (2002). *La forme*. In D. Andler, A. Fagot-Largeault et B. Saint-Sernin. *Philosophie des sciences*. (tome I pp. 485, 575, tome II pp. 1049, 1130). Paris : Gallimard, Folio essais.

ATLAN, H. (1999). *La fin du « tout génétique » ? Vers de nouveaux paradigmes en biologie*. Paris : Éditions de l'INRA (91 pages).

CANGUILHEM, G. (1966). *Le normal et le pathologique*. Paris : PUF.

CANGUILHEM, G. (1977). *Idéologie et rationalité dans les sciences de la vie*. Paris : Vrin

CANGUILHEM, G. Préface à Delaporte F. (1978). *Le second règne de la nature*. Paris : Flammarion.

CONRY, Y. (1981). Organisme et organisation : de Darwin à la génétique des populations. *Revue de synthèse* juillet-décembre (pp. 291, 330), réimprimé dans *Darwin en perspective*. Paris : Vrin.

DEBRU, C. (1998). *Philosophie de l'inconnu : le vivant et la recherche* Paris PUF coll. Science histoire et société.

DEBRU, C. (2003). *Le possible et les biotechnologies*. Paris : PUF.

DEWAELE, J. (2003). L'enseignement des concepts de soi et non soi. *Biologie-Géologie, 2*, 287-296.

FAGOT-LARGEAULT, A. (2002). *L'ordre vivant*. In D. Andler, A. Fagot-Largeault et B. Saint-Sernin. *Philosophie des sciences* (tome I, pp. 540-660). Paris : Gallimard coll. Folio essais.

FOUCAULT, M. (1971) *L'ordre du discours* Paris : Gallimard.

GALPERINE, C. & GAYON, J. (2004). Introduction. *Bulletin d'histoire et d'épistémologie des sciences de la vie, 11 (2)* 151-155.

GAYON, J. (1992). *L'espèce sans la forme*. In J. Gayon, J.-J. Wunenburger (Éd). *Les figures de la forme*. Actes d'un colloque regroupant 24 interventions sur ce thème. Paris : l'Harmattan.

HERZLICH, C. (1969). *Santé et maladie. Analyse d'une représentation sociale.* Paris : Mouton.

HUYGHE, R. (1971). *Formes et forces*. Paris : Flammarion.

JACOB, F. (1970) *La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité.* Paris : Gallimard.

KELLER, E. Fox (1999, traduction française 1995). *Le rôle des métaphores dans les progrès de la biologie*. Paris : Institut synthélabo.

KUHN, T.-S.(1972). *La structure des révolutions scientifiques.* Paris : Flammarion.

LATOUR, B. (1996). Avons nous besoin de « paradigmes » ? On accusé à tort Thomas Kuhn d'un sociologisme qu'il rejetait. *La Recherche, 290,* 84.

LECOURT, D. (1993) *À quoi sert donc la philosophie ? Des sciences de la nature aux sciences politiques.* (pp. 35, 36 et pp. 87, 102). Paris : PUF.

LECOURT, D. (1993) La notion de programme s'applique-t-elle à la pensée ? In *À quoi sert donc la philosophie ? Des sciences de la nature aux sciences politiques.* (pp. 125, 135). Paris : PUF.

LE GUYADER, H. (1992). Du concept de forme à la notion de polarité. Les nouvelles données de la biologie du développement. In J. Gayon et J.-J. Wunenburger (Éd). *Les figures de la forme.* Paris : L'Harmattan.

MAUREL, M-C. ; Miquel, P-A. (2001). *Programme génétique : concept biologique ou métaphore ?* Paris : Éditions Kimé.

MORANGE, M. (1994). *Histoire de la biologie moléculaire.* Paris : La Découverte.

MOULIN, A-M. (1995). Clés pour l'histoire de l'immunologie. In *Le système immunitaire, ou l'immunité cent ans après Pasteur.* (pp. 122-131). Dossiers documentaires INSERM Nathan.

MOULIN, A-M. (1991). *Le dernier langage de la médecine. Histoire de l'Immunologie de Pasteur au SIDA.* Paris : PUF.

MOULIN, A-M. (Éd) (1996). *L'aventure de la vaccination* Paris Fayard. Collection Penser la médecine.

PERRIN, J. (1970). *Les atomes*. Paris : Gallimard.

ROSTAND, J. (1966). *Biologie.* Paris : Gallimard coll. Pléiade.

RUMELHARD, G. (1979). Les processus de dogmatisation. *Actes des Premières Journées internationales d'étude scientifique.* Chamonix.

RUMELHARD, G. (Coord.) (1990). L'immunologie. Jeux de miroirs. *Aster, 10.*

RUMELHARD, G. (2003). Rencontres entre les disciplines. *Aster, 30.*